

Method for determining the position of a sound emitting target

Patent number: EP1271175
Publication date: 2003-01-02
Inventor: ARENS EGIDIUS (DE); MEYER RALF (DE); NIRMAIER THOMAS (DE)
Applicant: STN ATLAS ELEKTRONIK GMBH (DE)
Classification:
 - international: G01S3/808; G01S3/802; G01S5/22
 - european: G01S5/22, G01S3/802B, G01S3/808
Application number: EP20020013552 20020619
Priority number(s): DE20011030297 20010622

Also published as:

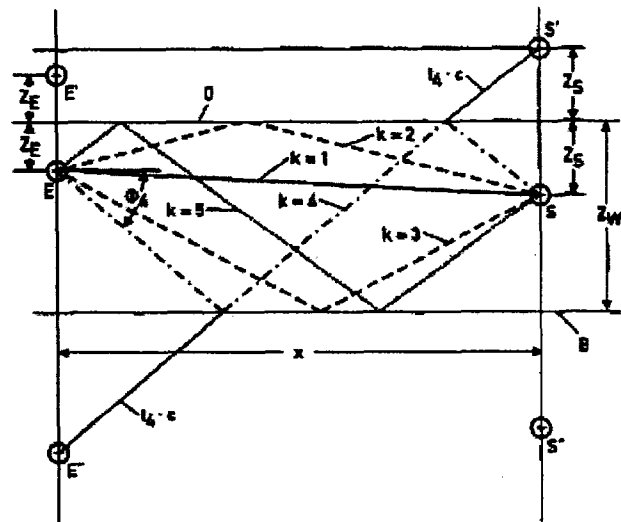
DE10130297 (A1)

Cited documents:

EP0412248
 DE3705695
 US4312053

Abstract of EP1271175

The method involves evaluating sound from the target received directly and via reflections. The hardware includes a submerged receiver with a number of electroacoustic transducers. The electrical output signals off the transducers are added directionally selectively to form group signals and transition time differences between direct and indirect paths determined and compared with modeled differences with various target position assumptions until agreement is achieved.



$$t_k \cdot c = \sqrt{x^2 + z_k^2}$$

für $k=1$: $z_1 = z_S - z_E$ (Direct)
 $k=2$: $z_2 = z_S + z_E$ (A)
 $k=3$: $z_3 = 2z_W - z_S - z_E$ (B)
 $k=4$: $z_4 = 2z_W + z_S - z_E$ (C)
 $k=5$: $z_5 = 2z_W - z_S + z_E$ (D)

Fig. 4

Method for determining the position of a sound emitting target

Patent number: EP1271175
Publication date: 2003-01-02
Inventor: ARENS EGIDIUS (DE); MEYER RALF (DE); NIRMAIER THOMAS (DE)
Applicant: STN ATLAS ELEKTRONIK GMBH (DE)
Classification:
 - International: G01S3/808; G01S3/802; G01S5/22
 - european: G01S5/22, G01S3/802B, G01S3/808
Application number: EP20020013552 20020619
Priority number(s): DE20011030297 20010622

Also published as:

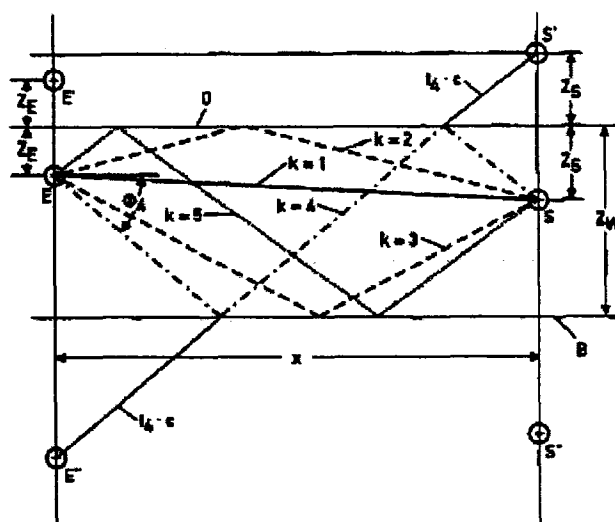
DE10130297 (A1)

Cited documents:

EP0412248
 DE3705695
 US4312053

Abstract of EP1271175

The method involves evaluating sound from the target received directly and via reflections. The hardware includes a submerged receiver with a number of electroacoustic transducers. The electrical output signals off the transducers are added directionally selectively to form group signals and transition time differences between direct and indirect paths determined and compared with modeled differences with various target position assumptions until agreement is achieved.



$$l_k \cdot c = \sqrt{x^2 + z_k^2}$$

Für $k=1$: $z_1 = z_S - z_E$ (Direkt)
 $k=2$: $z_2 = z_S + z_E$ (A)
 $k=3$: $z_3 = 2z_W - z_S - z_E$ (B)
 $k=4$: $z_4 = 2z_W + z_S - z_E$ (DB)
 $k=5$: $z_5 = 2z_W - z_S + z_E$ (SB)

Fig. 4



EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
02.01.2003 Patentblatt 2003/01

(51) Int Cl.7: G01S 3/808, G01S 3/802,
G01S 5/22

(21) Anmeldenummer: 02013552.1

(22) Anmeldetag: 19.06.2002

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

• Nirmaier, Thomas
69198 Schriesheim (DE)
• Meyer, Ralf
28215 Bremen (DE)

(30) Priorität: 22.06.2001 DE 10130297

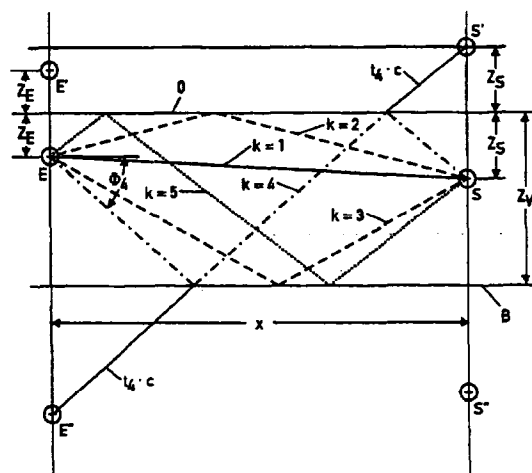
(71) Anmelder: STN ATLAS Elektronik GmbH
28305 Bremen (DE)

(74) Vertreter: Thul, Hermann, Dipl.-Phys.
Zentrale Patentabteilung,
Rheinmetall AG,
Rheinmetall Allee 1
40476 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
• Arens, Egidius
28832 Achim (DE)

(54) Verfahren zum Bestimmen der Zielposition eines schallabstrahlenden Ziels

(57) Verfahren zum Bestimmen der Zielposition eines schallabstrahlenden Ziels unter Auswertung des vom Ziel abgestrahlten Schalls, der auf direktem Ausbreitungsweg und auf durch Reflexionen entstehenden indirekten Ausbreitungswegen von einem Schallempfänger mit einer Mehrzahl von elektroakustischen Wandlern empfangen wird. Zu einer verbesserten Zielpositionsbestimmung von breitbandig Schall abstrahlenden Zielen werden richtungsselektive Gruppensignale gebildet und Laufzeitdifferenzen zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und indirekten Ausbreitungswegen gemessen. Mittels eines Modells der Schallausbreitung für angenommene Zielpositionen werden zugehörige, gleiche Modell-Laufzeitdifferenzen bestimmt und mit den Meß-Laufzeitdifferenzen verglichen. Die Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen mit jeweils geänderter Zielpositionsannahme wird solange wiederholt, bis der Vergleich einen vorgegebenen Grad der Übereinstimmung ergibt. Die zum Erreichen dieses Übereinstimmungsgrads getroffene Zielpositionsannahme wird als echte Zielposition ausgegeben. Fehler durch den Dopplereffekt werden beim Modellieren von Mustersignalen für die Bestimmung der Meß-Laufzeitdifferenzen beseitigt und eine Geschwindigkeitsbestimmung ermöglicht.



$$l_k \cdot c = \sqrt{x^2 + z_k^2}$$

für $k=1$: $z_1 = z_S - z_E$ (Direkt)
 $k=2$: $z_2 = z_S + z_E$ (0)
 $k=3$: $z_3 = 2z_W - z_S - z_E$ (B)
 $k=4$: $z_4 = 2z_W + z_S - z_E$ (0B)
 $k=5$: $z_5 = 2z_W - z_S + z_E$ (0C)

Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Zielposition eines Schall ins Wasser abstrahlenden Ziels der im Oberbegriff des Anspruchs 1 definierten Gattung.

[0002] Bei einem bekannten Verfahren dieser Art (DE 37 05 695 C1) wird der mit kleinen elektroakustischen Wandlern, dort Sensoren genannt, ausgestattete Schallempfänger, dort Sonarempfänger genannt, in einer ersten Wassertiefe angeordnet und ein erster Näherungswert der Laufzeitdifferenzen des Schalls zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und einem indirekten Ausbreitungsweg mit Oberflächenreflexion zu einer ersten Zeit bestimmt. Anschließend bewegt sich der Schallempfänger mit einer Geschwindigkeit in eine zweite Wassertiefe und ein zweiter Näherungswert der Laufzeitdifferenz des Schalls zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und einem indirekten Ausbreitungsweg mit Oberflächenreflexion zu einer zweiten Zeit bestimmt. Auf der Grundlage der beiden Näherungswerte für die Laufzeitdifferenzen, einem Näherungswert für die Geschwindigkeit des Schallempfängers und dem Zeitintervall zwischen erster und zweiter Zeit wird ein Näherungswert für die Zielentfernung geschätzt und daraus ein Näherungswert für die Zieltiefe abgeleitet.

[0003] Bei einem unter dem Begriff "Pingstealing" bekannten Verfahren, das ein aktiv Schallimpulse abstrahlendes Ziel - wie es z.B. ein aktiv ortendes Torpedosonar eines Torpedos darstellt - voraussetzt (US 4 312 053), wird mittels eines getauchten Schallempfängers der Einfallswinkel der akustischen Energie innerhalb eines Schallimpulses als Funktion der Zeit gemessen. Diese Daten werden dann in Mehrwege-Einfallswinkel und Mehrwege-Laufzeitdifferenzen umgesetzt und damit ein mathematisches Gleichungssystem zur Berechnung der Zielentfernung und Zieltiefe gelöst.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, das auch mit vom Ziel breitbandig abgestrahlter akustischer Energie, wie z.B. Antriebsgeräusche eines sich bewegenden Ziels, ohne zusätzliche Bedingungen, wie z.B. eine Horizontal- und Vertikalbewegung des Schallempfängers, insbesondere in Flachwassergebieten sehr genaue Ergebnisse bei der Zielvermessung liefert.

[0005] Die Aufgabe ist erfindungsgemäß durch die Merkmale im Anspruch 1 gelöst.

[0006] Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß durch die Bildung der Gruppensignale zum Zwecke eines richtungsabhängigen Anhebens des Nutz-Stör-Verhältnisses (SNR) und durch die Auswertung der in den Gruppensignalen enthaltenen Laufzeitdifferenzen zwischen unterschiedlichen Ausbreitungswegen mittels Vergleich mit einer Modellannahme der Schallausbreitung auch bei geringen Wassertiefen die Zielposition aufgrund der vom Ziel abgestrahlten Geräusche zuverlässig genau bestimmt wird. Bereits mit einfachen geometrischen Ausbreitungsmodellen für den Schall kann die Zielposition mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bestimmt werden. Mit der Kenntnis der Zieltiefe läßt sich darüber hinaus der azimutale Peilwinkel des Ziels mit einem berechenbaren Elevationswinkel des Schalleinfalls korrigieren und so das Toleranzgebiet der Zielposition einengen. Das Verfahren ist auch in der Lage, ein Ziel zu detektieren und die Zielpeilung zu bestimmen, wenn die richtungsselektive Bildung der Gruppensignale kontinuierlich über den gesamten Azimut durchgeführt wird und auf alle Gruppensignale die erfindungsgemäße Signalverarbeitung angewandt wird. Selbstverständlich ist das Verfahren auch bei Zielen anwendbar, die aktiv Schallimpulse senden.

[0007] Zweckmäßige Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens mit vorteilhaften Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen.

[0008] Der Abgleich zwischen Modell und Messung kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden, wobei der Grad der Übereinstimmung ein Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Ziels in der angenommenen Zielposition ist, die durch Peilung, Entfernung und Zieltiefe kennzeichnend ist.

[0009] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein direkter Vergleich der Modell- und Meß-Laufzeitdifferenzen durchgeführt, indem als Kriterium die Summe der minimalen Abstandsquadrate der Modell-Laufzeitdifferenzen zu ihren nächsten Nachbarn in der Menge der Meß-Laufzeitdifferenzen verwendet wird. Der vorgegebene Grad der Übereinstimmung ist dann erreicht, wenn die Summe dieser minimalen Abstandsquadrate innerhalb eines Konfidenzintervalls liegt.

[0010] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung werden dabei die minimalen Abstandsquadrate vor Summenbildung mit einem Wichtungsfaktor w_i multipliziert, wobei als Wichtungsfaktor w_i eine Potenz der Anzahl n_B, n_O mit den Reflexionsfaktoren R_B im Ausbreitungsweg i gemäß

$$w_i = R_B^{n_B} \cdot R_O^{n_O} \quad (1)$$

benutzt wird. Der Reflexionsfaktor R_B am Boden B und der Reflexionsfaktor an der Oberfläche O eines durch Boden B und Oberfläche O begrenzten Schallkanals wird plausibel zwischen 0 und 1 gewählt. Durch diese Wichtung wirken sich stark gedämpfte und nicht identifizierbare Meß-Laufzeitdifferenzen höherer Ordnung nicht verfälschend auf die Aufenthaltswahrscheinlichkeit aus.

[0011] Die Identifizierung der Laufzeitdifferenzen in jedem aus den elektrischen Ausgangssignalen von i elektrischen Wandlern gebildeten Gruppensignal, kann nach verschiedenen Methoden erfolgen. Die Gruppensignale, auch Beams genannt, werden durch kohärente Überlagerung der entsprechend der Einfallsrichtung des Schalls laufzeitverzögerten Ausgangssignale gebildet.

[0012] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird zur Laufzeitanalyse die Autokorrelationsfunktion des Gruppensignals gemessen, und die Meß-Laufzeitdifferenzen für die unterschiedlichen Ausbreitungswege werden zu vorgebbaren Meßzeitpunkten durch Auswertung der Maxima der Autokorrelationsfunktion gewonnen. Zwischen zwei Meßzeitpunkten liegt ein Zeitintervall, innerhalb dessen sich das Ziel weiterbewegt hat. Da die Autokorrelationsfunktion eines breitbandigen Signals mit der Bandbreite B Nebenmaxima mit abnehmender Amplitude im Abstand $\Delta t = 1/B$ besitzt, lassen sich in der Autokorrelationsfunktion benachbarte Hauptmaxima, die die Meß-Laufzeitdifferenzen kennzeichnen, nur dann voneinander trennen, wenn die Amplituden der Nebenmaxima ausreichend schnell abfallen, was bedingt, daß das Signal geeignet breitbandig sein muß.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Identifizierung der im Gruppensignal enthaltenen Laufzeitdifferenzen mittels einer Cepstralanalyse vorgenommen. Das reelle Cepstrum ist definiert als Fouriertransformierte des Logarithmus des Absolutwerts des Autospektrums eines Signals

$$C(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |X(e^{i\omega})| e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

wobei $X(e^{i\omega t})$ die Fouriertransformierte des Signals darstellt. Zur Definition des Autospektrums vgl. [2], Seite 50 ff. Die im Autospektrum enthaltenen Laufzeitdifferenzen lassen sich in der Fouriertransformierten des Spektrums, also im Cepstrum, anhand der dort auftretenden Maxima identifizieren. Zur Identifizierung der Maxima spielen die Längen der Fouriertransformation für das Autospektrum und dessen Fouriertransformierten eine entscheidende Rolle. Die Länge des Autospektrums soll daher möglichst groß sein, darf aber die zeitliche Kohärenzlänge des Signals nicht überschreiten, da dann die Maxima im Cepstrum wieder verschwinden.

[0014] Gemäß einer alternativen Ausführungsform der Erfindung kann bei der Identifizierung der im Gruppensignal enthaltenen Laufzeitdifferenzen durch Bestimmung des Cepstrums des Gruppensignals der Vergleich der Modell-Laufzeitdifferenzen mit den Meß-Laufzeitdifferenzen in der Weise vorgenommen werden, daß mit den Modell-Laufzeitdifferenzen ein Modell-Cepstrum gebildet wird und Modell-Cepstrum und gemessenes Cepstrum unmittelbar miteinander verglichen werden.

[0015] Als Modelle für die Schallausbreitung zur Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen aufgrund von Zielpositionsannahmen werden von der Vielzahl bekannter Modelle für die Mehrwegeausbreitung des Schalls in einem Schallkanal die geeigneten Modelle herangezogen. Solche Modelle sind beispielsweise aus [1] ablesbar.

[0016] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird ein einfaches geometrisches Modell in einem Flachwassergebiet mit der Wassertiefe z_w bei ebenem Gewässerboden und konstantem Schallgeschwindigkeitsprofil zugrundegelegt. Bei einer bekannten Tiefe z_E des Schallempfängers und einer angenommenen Zieltiefe z_S und azimutalen Zielentfernung x wird die Schalllaufzeit t_k für k ausgewählte Ausbreitungswege gemäß

$$t_k = \frac{1}{c} \sqrt{x^2 + z_k^2} \quad (3)$$

berechnet, wobei c die konstante Schallgeschwindigkeit und z_k der Weg ist, den der Schall in jedem Ausbreitungsweg k ausschließlich in vertikaler Richtung zurücklegt.

[0017] Mit einem solchen einfachen geometrischen Modell werden mit geringem Rechenaufwand bereits ausreichend genaue Ergebnisse in der Vermessung der Zielposition eines detektierten Ziels erzielt.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird bei festgestellter Zielposition die radiale Geschwindigkeit des Ziels, d.h. die auf den Empfänger gerichtete Geschwindigkeitskomponente des Ziels, und die Frequenz des vom Ziel abgestrahlten Schalls ermittelt. Hierzu werden die bei der Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen notwendigerweise berechneten Schall-Laufzeiten für den direkten Ausbreitungsweg des Schalls und für die ausgewählten indirekten Ausbreitungswege des Schalls zur festgestellten Zielpositionen und das Gruppensignal, in dem das Ziel detektiert worden ist, aufgerufen. Zu Zeitpunkten, die den aufgerufenen Schall-Laufzeiten entsprechen, werden aus dem Gruppensignal Frequenzspektren gebildet. Aus den Frequenzspektren werden Empfangsfrequenzen ausgelesen, die Differenzen der Empfangsfrequenzen gebildet und den aufgerufenen Schall-Laufzeiten zugeordnet. Für eine angenommene, vom Ziel abgestrahlte Frequenz und für eine angenommene, radiale Geschwindigkeit des

Ziels werden zu jeder der aufgerufenen Schallaufzeiten Dopplerefrequenzverschiebungen, kurz Dopplerverschiebungen, berechnet und die Differenzen der Dopplerverschiebungen gebildet. Die Empfangsfrequenz-Differenzen und die Dopplerverschiebungen-Differenzen werden miteinander verglichen, und die Berechnung der Dopplerverschiebungen mit jeweils geänderter Zielfrequenz und/oder radialer Zielgeschwindigkeit und der Vergleich mit den Empfangsfrequenz-Differenzen wird solange wiederholt, bis sich ein vorgegebener Grad der Übereinstimmung ergibt. Die zum Erreichen dieses Übereinstimmungsgrads getroffenen Annahmen von Zielfrequenz und radialer Zielgeschwindigkeit werden als wahre Zielfrequenz und wahre radiale Zielgeschwindigkeit ausgegeben.

[0019] Diese Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens hat den Vorteil, daß durch rein passive Detektion zusätzliche Zielparameter erhalten werden, die wertvollen Aufschluß über eine mögliche Bedrohung durch das Ziel geben. Mit der Bestimmung der Zielfrequenz kann das Ziel klassifiziert und mit der radialen Zielgeschwindigkeit die Geschwindigkeit festgestellt werden, mit der sich das Ziel auf den Empfänger zubewegt. Dies ermöglicht z.B. eine frühzeitige Torpedodetektion und -warnung und die Einleitung von Abwehrmaßnahmen aufgrund der Kenntnis der Torpedoangriffsgeschwindigkeit. Ist das Aktivsonar des Torpedos aktiviert, so ergeben sich in den Frequenzspektren des Gruppensignals signifikante Frequenzlinien, die der dopplerverschobenen Sendefrequenz des Aktivsonars entsprechen, wobei die Dopplerverschiebungen über die verschiedenen Schallausbreitungswege unterschiedlich sind.

[0020] Bei nicht aktiviertem Torpedosonar wird der Torpedo aufgrund seines spezifischen Antriebsgeräusches detektiert und seine Zielposition aus Meß-Laufzeitdifferenzen und Modell-Laufzeitdifferenzen bestimmt. In den Frequenzspektren des zur Zielposition gehörigen Gruppensignals treten signifikante hochfrequente Frequenzbänder auf, deren Mittenfrequenz mit ausreichender Genauigkeit Informationen über die darin enthaltene Dopplerverschiebung zur Bestimmung der radialen Zielgeschwindigkeit geben.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Dopplerverschiebung im direkten Ausbreitungsweg des Schalls als Produkt aus angenommener Zielfrequenz und angenommener radialer Zielgeschwindigkeit dividiert durch die Schallgeschwindigkeit im Wasser bestimmt. Die Dopplerverschiebungen für die ausgewählten indirekten Ausbreitungswege werden aus dem Verhältnis der Laufzeit über dem direkten Ausbreitungsweg zur Laufzeit über den jeweiligen indirekten Ausbreitungsweg multipliziert mit der Dopplerverschiebung für den direkten Ausbreitungsweg berechnet.

[0022] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Positionsbestimmung des Ziels verbessert und die Bestimmung der Geschwindigkeit des Ziels ohne eine Frequenzanalyse möglich. Der sich vom Ziel ausbreitende Schall wird auf dem direkten Ausbreitungsweg zum Empfänger am wenigsten gedämpft, da sein Weg am kürzesten ist und Verluste durch Reflexionen nicht auftreten. Durch die Geschwindigkeit des Ziels wird der Schall abhängig vom Ausbreitungsweg bei einer Annäherung des Ziels zeitlich unterschiedlich entsprechend dem Dopplereffekt gestaucht, so daß im Abstand der Laufzeitdifferenzen die Dopplerverschiebung des abgestrahlten Schalls unterschiedlich und zum direkt empfangenen Schall am größten ist. Diese gegenüber der Direktausbreitung unterschiedliche zeitliche Stauchung oder Dehnung des Schalls am Empfangsort wird erfindungsgemäß bei der Laufzeitbestimmung des Schalls für jede Positionsänderung des Ziels berücksichtigt.

[0023] Im Modell wird ein von der Geschwindigkeit abhängiger Modell-Stauchungsfaktor je Ausbreitungsweg für die nächste angenommene Position des Ziels bereitgestellt. Zur Schätzung der nächsten angenommenen Zielposition wird zu der bereits bestimmten Zielposition ein während eines Zeitintervalls mit einer angenommenen Geschwindigkeit zurückgelegtes Wegintervall hinzugefügt und dazu die Modell-Laufzeitdifferenzen und ihre zeitlichen Ableitungen bestimmt, die die Modell-Stauchungsfaktoren bilden. Sie entsprechen der relativen Dopplerverschiebung und werden für unterschiedliche Geschwindigkeiten aus der vorherigen Position für angenommene Positionen je Ausbreitungsweg aus der zeitlichen Änderung der Modell-Laufzeitdifferenzen berechnet und den Modell-Laufzeitdifferenzen zugeordnet.

[0024] Zu dem Meßzeitpunkt, zu dem die Position des Ziel bereits ermittelt wurde, wird das Gruppensignal mit dem größten Pegel innerhalb eines Zeitintervalls gespeichert und dem direkten Ausbreitungsweg zugeordnet. Seine Dopplerverschiebung bleibt konstant wenn während der nächsten beiden Zeitintervalle die Geschwindigkeit des Ziel auf dem direkten Ausbreitungsweg als konstant angenommen wird. Zum Erstellen von Mustersignalen wird das abgespeicherte Gruppensignal jeweils mit dem Modell-Stauchungsfaktoren moduliert, indem der zeitliche Verlauf durch unterschiedliche Ausspeicherzeiten gestaucht oder gedehnt wird. Für jede angenommene Geschwindigkeit und Zielposition wird je Ausbreitungsweg ein Mustersignal erstellt.

[0025] Zum nächsten Meßzeitpunkt wird das momentan empfangenen Gruppensignal mit den Mustersignalen, die aus dem Gruppensignal des vorherigen Meßzeitpunkts gewonnen wurden, kreuzkorreliert. Jede Kreuzkorrelationsfunktion, die im Zeitoder Frequenzbereich erfolgen kann, liefert bei dem mit dem Mustersignal übereinstimmenden Ausbreitungsweg eine Meß-Laufzeitdifferenz, die der Modell-Laufzeitdifferenz entspricht. Zugleich ist die angenommene Geschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit des Ziels, mit der es die neue Position eingenommen hat, wenn sämtliche Meß-Laufzeitdifferenzen und Modell-Laufzeitdifferenzen für alle Ausbreitungswege übereinanderliegen und der Vergleich zwischen Messung und Modell die kleinste Abweichung aufweist.

[0026] Der Vorteil der erfindungsgemäßen Weiterbildung besteht darin, daß die auch durch die Ambiguityfunktion bekannten Fehler bei der Laufzeitbestimmung, die durch die Stauchung oder Dehnung des empfangenen Gruppen-

signals gegenüber dem abgestrahlten Schall auftreten, durch die Bereitstellung der Mustersignale verkleinert werden. Durch die zeitliche Dehnung oder Stauchung des abgespeicherten Zeitstücks des Gruppensignals, das dem direkten Ausbreitungsweg zuzuordnen ist, wird ein Mustersignal geschaffen, das auf den über den Umweg empfangenen Schall frequenz- und zeitmäßig angepaßt ist. Nur bei Übereinstimmung liefern die Kreuzkorrelationsfunktionen Maxima. Werden

Impulse empfangen, wird durch die erfindungsgemäße Erstellung der Mustersignale die Dehnung und Stauchung der Impulslänge je Ausbreitungsweg bereits berücksichtigt.

[0027] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß breitbandig ohne Frequenzmessung allein aus der mit dem Dopplereffekt erklärbaren zeitlichen Stauchung oder Dehnung der übertragenen Schallwelle die Geschwindigkeit des Ziels ermittelt werden kann, da die Modell-Stauchungsfaktoren für die unterschiedlichen Ausbreitungswege abhängig vom Schallkanal und einer vorgegebenen Geschwindigkeit berechnet werden.

[0028] Für eine Klassifizierung des Ziels besteht der Vorteil, aus der relativen Dopplerverschiebung, die der Modell-Stauchungsfaktor angibt, und der Geschwindigkeit des Ziels die Frequenz oder das Frequenzband des vom Ziel abgestrahlten Schalls ohne Frequenzanalyse zu ermitteln.

[0029] Eine weitere Verbesserung, insbesondere bei einer Annäherung des Ziels, besteht darin, daß ab einer vorgebbaren Zielentfernung von einer breitbandige Auswertung des Gruppensignals auf eine Auswertung innerhalb eines Frequenzbereichs mit vorgebbarer Mittenfrequenz und Bandbreite umgeschaltet werden kann und dadurch das Nutz-/Störverhältnis verbessert wird. Insbesondere im mittleren und oberen Frequenzbereich, der im Nahbereich trotz der höheren Dämpfung gut empfangen werden kann, ist die Dopplerverschiebung für die unterschiedlichen Ausbreitungswege signifikant unterschiedlich, so daß die Bestimmung der Maxima der Kreuzkorrelationsfunktion für die unterschiedlichen Ausbreitungswege eindeutige Ergebnisse liefert und damit die Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung verbessert wird. Weiterhin besteht der Vorteil, daß durch die Bandbreite die Auflösung der Entfernungsmessung und durch die Integrationszeit bei der Kreuzkorrelationsfunktion die Auflösung der Geschwindigkeitsmessung abhängig von einer Falschalarmrate eingestellt werden kann. Die Entfernungsauflösung ist umso besser, je größer die Bandbreite ist, während die Geschwindigkeitsauflösung mit steigender Integrationszeit wächst. Zumindest während der Integrationszeit und des Zeitintervalls muß die Geschwindigkeit konstant und das Übertragungsverhalten des Schallkanals stabil bleiben.

[0030] Die Erfindung ist anhand eines in der Zeichnung illustrierten Ausführungsbeispiels im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Erläuterung des Verfahrens zum Bestimmen der Zielposition eines schallabstrahlenden Ziels,

Fig. 2 ein Diagramm einer Autokorrelationsfunktion eines Gruppensignals zur Bestimmung der Meß-Laufzeitdifferenzen,

Fig. 3 ein Diagramm eines Cepstrums des gleichen Gruppensignals zur Bestimmung der Meß-Laufzeitdifferenzen,

Fig. 4 eine grafische Darstellung eines geometrischen Schallausbreitungsmodells mit Berechnung der Schalllaufzeiten in den einzelnen Ausbreitungswegen,

Fig. 5 ein Blockschaltbild einer gegenüber Fig. 1 modifizierten Schaltungsanordnung,

Fig. 6 ein gegenüber dem Blockschaltbild gemäß Fig. 1 erweitertes Blockschaltbild zur Erläuterung des Verfahrens zum Bestimmen der Zielparameter: radiale Zielgeschwindigkeit und Zielfrequenz nach festgestellter Zielposition und

Fig. 7 ein gegenüber dem Blockschaltbild gemäß Fig. 1 für die Bestimmung von Meß-Laufzeitdifferenzen erweitertes Blockschaltbild.

[0031] Bei dem nachfolgend anhand des Blockschaltbilds in Fig. 1 beschriebenen Verfahren zum Bestimmen der Zielposition eines Schall ins Wasser abstrahlenden Ziels von einem zielfernen, untergetauchten Schallempfänger aus, wird die Tatsache ausgenutzt, daß sich im Wasser aufgrund von Temperaturschichtungen oder aufgrund nur begrenzter Wassertiefe Schallkanäle bilden, in denen sich der Schall auf verschiedenen, reflexionsbedingten Ausbreitungswegen unterschiedlicher Länge ausbreitet und damit nach unterschiedlichen Laufzeiten am Schallempfänger eintrifft, so daß ein vom Schallempfänger aufgenommenes Empfangssignal zeitliche Überlagerung des gleichen Signals enthält. Ein Ziel ist jede im Wasser befindliche Schallquelle, wie sie z.B. von den Antriebsmaschinen oder sonstigen geräuscherzeugenden Arbeitsaggregaten eines Oberflächenschiffes, U-Boots oder Torpedos gebildet wird. Der von diesen Maschinen und Aggregaten ausgesendete Schall ist breitbandig. Die Schallquelle kann aber auch ein aktiv sendendes

Sonar sein, das in einem Oberflächenschiff, U-Boot oder Torpedo installiert ist und Schallimpulse ins Wasser abstrahlt. Der Schallempfänger 10, der auf einer ins Wasser eintauchenden Plattform, z.B. einem U-Boot, installiert ist, weist in bekannter Weise eine Mehrzahl von elektroakustischen Wandlern 11 auf, die im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 eine Linearantenne bilden, wie sie z.B. als Schleppantenne (Towed-Array) oder als am Bootskörper befestigte Seitenantenne (Flank-Array), mitunter auch als Bordwandstreamer bezeichnet, bei U-Booten verwendet wird.

[0032] Die elektrischen Ausgangssignale der Wandler 11 werden in bekannter Weise mittels eines Beamformers oder Richtungsbildners 12 richtungsselektiv zu Gruppensignalen addiert. Hierzu werden im Richtungsbildner 12 die Ausgangssignale der Wandler 11 zeit- oder phasenverzögert, und zwar derart, daß unter Berücksichtigung der gewünschten Einfall- oder Peilrichtung θ_m alle Empfangssignale der Wandler 11 konphas sind. Die Verzögerungszeiten $\tau_{n,m}$ werden für jeden Wandler 11 für eine vorgegebene Peilrichtung θ_m von dem Verzögerungsrechner 23 zur Verfügung gestellt. Die in jeder Peilrichtung θ_m erhaltenen konphasen Ausgangssignale werden im Richtungsbildner 12 addiert und in einen Speicher 13 in Zuordnung zu der jeweiligen Peilrichtung θ_m abgelegt. Ein Pegeldetektor 14 ermittelt aus den Pegeln der abgespeicherten Gruppensignale die größten Pegel und gibt die den größten Pegeln der Gruppensignale zugeordneten Peilrichtungen θ_m als Zielpellungen θ_z aus, die einer Anzeigevorrichtung 15 zugeführt und in dieser numerisch und grafisch dargestellt werden.

[0033] Für eine Zielpellung mit dem Peilwinkel θ_z wird aus dem Speicher 13 das zugeordnete Gruppensignal ausgelesen, und zur Bestimmung der Zielposition des unter dem Peilwinkel θ_z detektierten Ziels wird dieses Gruppensignal einer Signalverarbeitung wie folgt unterzogen:

[0034] In dem Gruppensignal werden mittels einer Laufzeitanalyse in dem Signalverarbeitungsblock 16 die im Gruppensignal enthaltenen Laufzeitdifferenzen zwischen dem direkten Ausbreitungsweg des Schalls und den durch Reflexionen im Schallkanal entstehenden indirekten Ausbreitungswegen des Schalls zwischen dem Ziel und dem Schallempfänger 10 als Meß-Laufzeitdifferenzen $t_{c,k}$ gemessen. In einem Modellblock 17 werden mittels eines ausgewählten Modells der Schallausbreitung in einem Schallkanal für eine angenommene Zielposition, die bestimmt ist durch eine angenommene Zielentfernung x und eine angenommene Zieltiefe z_s , die Laufzeitdifferenzen zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und ausgewählten indirekten Ausbreitungswegen des Schalls vom Ziel zum Schallempfänger 10 als Modell-Laufzeitdifferenzen $t_{m,i}$ bestimmt. Die Meß-Laufzeitdifferenzen aus dem Signalverarbeitungsblock 16 und die Modell-Laufzeitdifferenzen aus dem Modellblock 17 werden einer Vergleichslogik 18 zugeführt. In der Vergleichslogik 18 werden die Modell-Laufzeitdifferenzen mit den Meß-Laufzeitdifferenzen verglichen. Ergibt der Vergleich einen nicht ausreichenden Grad der Übereinstimmung, so wird die Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen im Modellblock 17 mit einer geänderten Zielpositionsannahme wiederholt, und die neuen Modell-Laufzeitdifferenzen werden erneut mit den Meß-Laufzeitdifferenzen verglichen. Hierzu wird jeweils ein Zielpositions-Vorgabemodell 22 von dem Komparator 19 aktiviert, der die neue Zielpositionsannahme der Vergleichslogik 18 und einem Tor 21 zugeführt. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis der Vergleich der Modell-Laufzeitdifferenzen mit den Meß-Laufzeitdifferenzen einen ausreichenden Grad der Übereinstimmung ergibt. Ist dies der Fall, dann wird von dem Komparator 19 das Tor 21 geöffnet und die zum Erreichen dieses Übereinstimmungsgrads zuletzt getroffene Zielpositionsannahme als echte Zielposition mit der Zielentfernung x_z^* und der Zieltiefe z_s^* an die Anzeigevorrichtung 15 ausgegeben und in der Anzeigevorrichtung 15 grafisch und numerisch dargestellt.

[0035] Die Vergleichslogik 18, die durch Vergleich der Modell- und Meß-Laufzeitdifferenzen die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Ziels an der angenommenen Zielposition ermittelt, kann nach verschiedenen Algorithmen arbeiten. Im Ausführungsbeispiel arbeitet die Vergleichslogik 18 nach dem Least-Square-Verfahren. Die Wahrscheinlichkeit, bei der angenommenen Zielposition das Ziel zu finden, ist danach umgekehrt proportional zur Summe der kleinsten Abstandsquadrate der Modell-Laufzeitdifferenzen und der Meß-Laufzeitdifferenzen. Dabei wird im Modell zunächst die Anzahl n_m der zu berücksichtigenden Laufzeitdifferenzen festgelegt, die vom Signal-Noise-Ratio (SNR) des Gruppensignals, von der maximalen Anzahl der indirekten Ausbreitungswege u.a. abhängt. Dann wird für jede Modell-Laufzeitdifferenz $t_{m,i}$ diejenige Laufzeit $t_{min(i)}$ gesucht, die einer beliebigen Meß-Laufzeitdifferenz $t_{c,k}$ am nächsten kommt. i ist der Index der Modell-Laufzeitdifferenzen und k der Index der Meß-Laufzeitdifferenzen. Der mathematische Ausdruck hierfür ist

$$t_{min(i)} = t_k \quad (4)$$

mit

$$k = \arg \min |t_{m,i} - t_{c,k}| \quad (5)$$

[0036] Die Funktion argmin liefert das Argument, d.h. den Index k für den der Ausdruck auf der rechten Seite von

Gl.(5) minimal ist, hier also den Index k einer Meß-Laufzeitdifferenz mit minimalem Abstand zu einer Modell-Laufzeitdifferenz.

[0037] Schließlich wird die Summe der minimalen Abstandsquadrate über alle Modell-Laufzeitdifferenzen gemäß:

$$K(z_s, x) = \sum_{i=1}^{n_k} (t_{M,i} - t_{\min}(i))^2 \quad (6)$$

gebildet. Das Minimum von $K(z_s, x)$ liefert Zielentfernung und Zieltiefe.

[0038] Die Summe $K(z_s, x)$ dieser kleinsten Abstandsquadrate wird in einem Komparator 19 mit einem Konfidenzintervall KI verglichen. Liegt $K(z_s, x)$ nicht innerhalb dieses Konfidenzintervalls KI , so wird vom Komparator 19 im Block 20 eine neue Zielpositionsannahme mit einer neuen Zieltiefe z_s und Zielentfernung x ausgelöst, die dem Modellblock 17 zugeführt wird und zu einer neuen Berechnung der Modell-Laufzeitdifferenzen für die neue Zielpositionsannahme führt. In der Vergleichslogik 18 wird wiederum die Summe $K(z_s, x)$ der kleinsten Abstandsquadrate gebildet und im Komparator 19 mit dem Konfidenzintervall KI verglichen. Liegt schließlich bei einer gewählten Zielpositionsannahme die Summe $K(z_s, x)$ der kleinsten Abstandsquadrate innerhalb des Konfidenzintervalls KI , so wird von dem Komparator 19 das Tor 21 geöffnet, und die zuletzt getroffene Zielpositionsannahme wird als echte Zielposition mit der Zielentfernung x_z^* und Zieltiefe z_s^* der Anzeigevorrichtung 15 zugeführt und dort grafisch und numerisch dargestellt.

[0039] Alternativ zu der Abprüfung mit einem Konfidenzintervall können die Summen der minimalen Abstandsquadrate in Wahrscheinlichkeiten umgerechnet werden und ein 2D- oder 3D-Plot für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit bestimmt wird. Ein Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit $P(z_s, x)$ eines Ziels in der angenommenen Zielposition ist der Kehrwert der Summe $K(z_s, x)$ der minimalen Abstandsquadrate. Je geringer $K(z_s, x)$ ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß sich das Ziel bei den angenommenen Koordinaten x, z_s der Zielposition befindet. Die Summe muß noch derart normiert werden, daß das räumliche Integral über alle Wahrscheinlichkeitsdichten bzw. die Summe über alle $P(z_s, x)$ gleich 1 ist, also gilt

$$\int_s \int_x P(z_s, x) dz_s dx = 1 \quad (7)$$

[0040] Nach dieser Normierung können für die Vielzahl der angenommenen Zielpositionen die Wahrscheinlichkeitsdichten pro Fläche im Zielgebiet dargestellt werden. Ein Algorithmus oder ein Operator kann in der Darstellung erkennen, ob eine mehrdeutige Situation mit mehreren lokalen Maxima und potentiellen Zielpositionen vorliegt oder ob die Situation eindeutig ist.

[0041] Um den Einfluß von stark gedämpften, durch die Laufzeitanalyse nicht eindeutig identifizierbare Meß-Laufzeitdifferenzen höherer Ordnung zu reduzieren, werden in der Vergleichslogik die minimalen Abstandsquadrate vor Summenbildung mit einem Wichtungsfaktor w_i gewichtet, der in dem Block 22 generiert wird. Die Wichtungsfaktoren, die abhängig sind von der Anzahl der Schallreflexionen in indirekten Ausbreitungswegen, können direkt aus dem Schallausbreitungsmodell abgelegt werden. Bei einem nachfolgend noch beschriebenen einfachen Schallausbreitungsmodell finden beispielsweise Reflexionen des Schalls mit dem Reflexionsfaktor R in jedem indirekten Ausbreitungsweg statt, wobei die Amplitude der Schallwelle sich um den Faktor R^n reduziert. Da der Reflexionsfaktor R_B am Boden und der Reflexionsfaktor R_O an der Oberfläche des Schallkanals unterschiedlich sind, setzen sich die Wichtungsfaktoren w_i in jedem Ausbreitungsweg i aus dem Teil mit Bodenreflexion und aus dem Teil der Oberflächenreflexion gemäß

$$w_i = R_B^{n_B} \cdot R_O^{n_O} \quad (1)$$

zusammen, wobei n_B die Anzahl der Bodenreflexionen und n_O die Anzahl der Oberflächenreflexionen ist. Für die Reflexionsfaktoren R_B und R_O werden plausible Werte zwischen 0 und 1 verwendet, die a priori festgelegt werden. Beispielsweise wird der Reflexionsfaktor $R_B = 0,5$ und der Reflexionsfaktor $R_O = 0,75$ festgelegt. Bei zwei Bodenreflexionen und einer Oberflächenreflexion im q -ten Ausbreitungsweg ergäbe sich ein Wichtungsfaktor $w_q = 0,1875$ mit dem das minimale Abstandsquadrat $(t_{M,q} - t_{\min}(q))^2$ des Ausbreitungswegs $i=q$ multipliziert werden müßte.

[0042] Die Laufzeitanalyse zur Ermittlung der im Gruppensignal enthaltenden Meß-Laufzeitdifferenzen kann auf verschiedene Weise vorgenommen werden. In einem ersten Ausführungsbeispiel wird zur Laufzeitanalyse die Autokorrelationsfunktion des Gruppensignals gebildet. Eine solche Bildung der Autokorrelationsfunktion ist in [2] beschrieben.

Die Autokorrelationsfunktion besteht bei Mehrwegeausbreitung aus einer Überlagerung von Autokorrelationsfunktionen, die jeweils um die Differenzen der relativen Laufzeiten verschoben sind. Diese Laufzeitdifferenzen können durch Auswerten der Maxima der Autokorrelationsfunktion des Gruppensignals bestimmt werden, wobei aufgrund der Symmetrie der Autokorrelationsfunktion nur positive Laufzeitdifferenzen berücksichtigt werden. In Fig. 2 ist eine solche Autokorrelationsfunktion dargestellt. Deutlich ist ein Maximum bei einer Laufzeitdifferenz 0 ms zu sehen, das dem direkten Schallausbreitungsweg entspricht. Weitere Maxima sind bei 2 ms, 8 ms und 10 ms zu finden, die Laufzeitdifferenzen zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und zwei indirekten Ausbreitungswegen sowie zwischen den beiden indirekten Ausbreitungswegen definieren. Die Maxima sind mit $\Delta t_{1,2}$, $\Delta t_{1,3}$, und $\Delta t_{2,3}$ gekennzeichnet.

Bevorzugt wird zur Laufzeitanalyse im Signalverarbeitungsblock 16 eine Cepstralanalyse auf das Gruppensignal angewendet und die Meß-Laufzeitdifferenzen durch Auswertung der Maxima im Cepstrum gewonnen. Die Cepstralanalyse ist an sich bekannt und in [3] beschrieben. Wie bereits erwähnt ist das reelle Cepstrum definiert als Fouriertransformierte des Logarithmus des Absolutwerts des Autospektrums des Gruppensignals gemäß Gl.(2), wobei $X(e^{j\omega t})$ die Fouriertransformierte des Signals darstellt. Die Laufzeitdifferenzen lassen sich in den Maxima des Cepstrums leicht identifizieren. Ein Beispiel eines aus einer Cepstralanalyse gewonnenen Cepstrums ist in Fig. 3 dargestellt. Die Laufzeitdifferenz $\Delta t_{1,2}$ zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und einem ersten indirekten Ausbreitungsweg ist bei 2 ms zu finden. Die Laufzeitdifferenz $\Delta t_{1,3}$ zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und einem zweiten indirekten Ausbreitungsweg beträgt 10 ms, während noch eine Laufzeitdifferenz $\Delta t_{2,3}$ zwischen dem ersten und zweiten indirekten Ausbreitungsweg durch das Maximum bei 8 ms identifiziert wird. Ein Vergleich mit der Autokorrelationsfunktion gemäß Fig. 2 zeigt, daß diese Laufzeitdifferenzen in gleicher Größe auch in der Autokorrelationsfunktion zu finden sind. Im Cepstrum lassen sich die Maxima aber wesentlich leichter identifizieren, weil hier keine Nebenmaxima auftauchen - wie dies in der Autokorrelationsfunktion der Fall ist - und somit reale Maxima von vorhandenen Reflexionen nicht mit Nebenmaxima verwechselt werden können.

[0043] Als Modelle für die Erstellung der Modell-Laufzeitdifferenzen können von dem bereits bekannten Modellen entsprechend geeignete ausgewählt und in dem vorgestellten Verfahren eingesetzt werden. In [1] oder [5] sind verschiedene Modelle angegeben, die ggf. mit entsprechender Anpassung oder Modifikation verwendet werden können. Ein ebenfalls geeignetes Schallausbreitungsmodell ist unter dem Namen "RAY" bekannt und in [4] beschrieben. Aber auch die Verwendung eines einfachen geometrischen Schallausbreitungsmodells, das im folgenden beschrieben wird, zeigt bereits recht gute Ergebnisse in der Genauigkeit der Bestimmung einer Zielposition.

[0044] In Fig. 4 ist ein in einem Flachwassergebiet von z.B. einer Wassertiefe von ca. 200 m sich bildender Schallkanal, in dem ein Ziel S in einer Zieltiefe z_S und ein Schallempfänger E in der Empfangstiefe z_E angeordnet sind, und voneinander eine Entfernung x aufweisen, schematisch dargestellt. Mit O ist die Wasseroberfläche und mit B der Boden des Schallkanals bezeichnet. Der Boden B wird als eben und das Schallgeschwindigkeitsprofil des Schallkanals als konstant mit der konstanten Schallgeschwindigkeit c angenommen. Der vom Ziel S abgestrahlte Schall gelangt einmal auf direktem Ausbreitungsweg zum Empfänger E und zum anderen auf indirekten Ausbreitungswegen durch Reflexionen an der Oberfläche O und am Boden B zu dem Empfänger E. Der direkte Ausbreitungsweg ist in Fig. 4 mit der Ordnungszahl $k = 1$ bezeichnet und ausgezogen dargestellt. Die indirekten Ausbreitungswege sind in Fig. 4 mit $k = 2$ bis $k = 5$ bezeichnet, wobei der strichlinierte Ausbreitungsweg $k = 2$ eine Reflexion des Schalls an der Wasseroberfläche O und der strichliniert dargestellte indirekte Ausbreitungsweg $k = 3$ eine Reflexion des Schalls am Boden B enthält. Die beiden weiteren strichpunktirt und punktiert dargestellten indirekten Ausbreitungswege $k = 4$ und $k = 5$ enthalten jeweils eine Reflexion des Schalls an der Wasseroberfläche O und am Boden B.

[0045] Der Weg, den der Schall in jedem der k-Ausbreitungswege zurücklegen muß und $t_k \cdot c$ beträgt, kann durch Annahme entsprechender Spiegelziele S' und S'' oder Spiegelempfänger E' und E'' für die verschiedenen Ordnungen der Ausbreitungswege berechnet werden. Die Geometrie für die Berechnung des indirekten Ausbreitungsweges $k = 4$ ist in Fig. 4 durch das dargestellte rechtwinklige Dreieck, dessen Hypotenuse sich zwischen dem Spiegelziel S' und dem Spiegelempfänger E'' erstreckt und dessen eine Kathete von der Entfernung x gebildet wird, herausgehoben. Allgemein berechnet sich die Laufzeit t_k für jeden der k-Ausbreitungswege gemäß Gl. (2) zu

$$t_k = \frac{1}{c} \sqrt{x^2 + z_k^2} \quad (3),$$

wobei z_k der Weg ist, den der Schall ausschließlich in vertikaler Richtung zurücklegen muß. In Fig. 4 ist die Berechnung des Wertes z_k für die Ausbreitungswege $k = 1$ bis $k = 5$ angegeben. Der Elevationswinkel Φ_k der Schalleinfallrichtung am Empfänger E bei Schallausbreitung über die Ausbreitungswege k berechnet sich zu

$$\tan \Phi_k = \frac{z_k}{x} \quad (8)$$

und kann zur Korrektur des gemessenen Peilwinkels θ_z verwendet werden. Der Einfallswinkel des über den Ausbreitungsweg $k = 4$ am Empfänger E eintreffenden Schalls ist in Fig. 4 mit Φ_4 eingezeichnet.

Mittels des geometrischen Modells werden mit Vorgabe einer angenommenen Zielentfernung x und einer angenommenen Zieltiefe z_s die Laufzeiten t_k für ausgewählte Ausbreitungswege des Schalls im Schallkanal bestimmt. Die Laufzeitdifferenzen $t_{M,i}$ werden durch Subtraktion der Laufzeiten t_1 für den direkten Ausbreitungsweg $k = 1$ von dem jeweiligen indirekten Ausbreitungsweg t_k mit k größer 1 gewonnen und - wie beschrieben - der Vergleichslogik 18 zugeführt.

[0046] In dem Fall, in dem zur Gewinnung der Meß-Laufzeitdifferenzen im Signalverarbeitungsblock 16 mittels Cepstralanalyse das Cepstrum des Gruppensignals gebildet wird, kann das im Modellblock 17 verwendete Modell dahingehend erweitert werden, daß mit den Modell-Laufzeitdifferenzen ein Modell-Cepstrum gebildet wird. Die Vergleichslogik 18 wird dahin abgewandelt, daß nun nicht mehr die einzelnen Meß-Laufzeitdifferenzen von Cepstrum und Modell miteinander verglichen werden, sondern unmittelbar das gemessene Cepstrum mit dem Modell-Cepstrum.

[0047] Bei Inkaufnahme eines erweiterten Rechenaufwands kann auf die gesonderte Zieldetektion und Zielpeilung mittels der zur Fig. 1 beschriebenen Peilanlage verzichtet werden und mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch die Zieldetektion und Zielpeilung durchgeführt werden. Eine gegenüber Fig. 1 modifizierte Schaltungsanordnung für das so abgewandelte Verfahren ist im Blockschaltbild in Fig. 5 dargestellt. In der Schaltungsanordnung sind Gruppensignal-Speicher und Pegeldetektor entfallen und der vorgegebene Winkel θ_m für den momentanen Schalleinfall (Peilrichtung) ist zusammen mit den Werten für Zielentfernung x und Zieltiefe z_s der Zielpositionsannahme an das Tor 21 gelegt. Im übrigen läuft das Verfahren in gleicher Weise ab, wie es zur Fig. 1 beschrieben ist, wobei durch Änderung der Peilrichtung θ_m in diskreten Winkelschritten der gesamte Azimut nach Zielen abgesucht wird. Sobald das gewünschte Maß der Übereinstimmung zwischen den Meß-Laufzeitdifferenzen und den Modell-Laufzeitdifferenzen bei einer Peilrichtung θ_m erreicht wird und der Komparator 19 das Tor 21 öffnet, wird auch die zu der echten Zielposition gehörende Peilrichtung θ_m , die dann dem echten Peilwinkel θ_z entspricht, der Anzeigevorrichtung 15 zugeführt und dort zusammen mit der zur echten Zielposition gehörenden echten Zielentfernung x^* und echten Zieltiefe z_s^* numerisch und grafisch dargestellt.

[0048] Das vorstehend beschriebene Verfahren läßt sich auch zum Bestimmen weiterer Zielparameter heranziehen, nachdem die Zielposition festgestellt worden ist. Diese Zielparameter sind die Frequenz des vom Ziel abgestrahlten Schalls, im folgenden Zielfrequenz genannt, und die radiale Geschwindigkeit des Ziels, das ist die Geschwindigkeitskomponente, mit dem sich das Ziel auf direktem, d.h. radialem, Weg auf den Empfänger zubewegt, im folgenden radiale Zielgeschwindigkeit genannt. Diese zusätzlichen Verfahrensschritte werden anhand des in Fig. 6 wiedergegebenen Blockschaltbilds erläutert, wobei das Blockschaltbild gemäß Fig. 1 vollständig in Fig. 6 integriert ist und insoweit auch die gleichen Bezugszeichen aus Fig. 1 in Fig. 6 übernommen worden sind.

[0049] Das Blockschaltbild der Fig. 1 ist dabei zunächst so erweitert, daß die Laufzeiten t_k des Schalls, die mit dem Schallausbreitungsmodell im Modellblock 17 für die Ausbreitungswege berechnet werden, fortlaufend in einen Laufzeitenspeicher 24 eingeschrieben werden, wobei die für eine vorhergehende Zielposition berechneten Laufzeiten t_k jeweils mit den für eine nachfolgende Zielposition berechneten Laufzeiten t_k überschrieben werden, so daß im Laufzeitenspeicher 24 immer die für die zuletzt angenommene Zielposition berechneten Laufzeiten t_k abgelegt sind. Ist die wahre Zielposition erkannt worden, so wird durch das Ausgangssignal des Komparators 19 das Tor 21 geöffnet und die wahre Zielentfernung x_z^* , die wahre Zieltiefe z_s^* und der Peilwinkel θ_z der Anzeigevorrichtung 15 zugeführt. Gleichzeitig gelangt das Komparatorsignal als Auslesesignal an den Laufzeitenspeicher 24, so daß die im Laufzeitenspeicher 24 enthaltenen Laufzeiten t_k nacheinander ausgelesen und einem Fouriertransformator 25 als Steuersignal zugeführt werden. In dem zu Fig. 4 beschriebenen Ausführungsbeispiel werden somit die Laufzeiten t_k mit $k=1$ bis 5 ausgelesen. Im Fouriertransformator 25 wird das Gruppensignal, mit dem die Zielpeilung θ_z festgestellt worden ist, einer Fouriertransformation unterzogen und für Zeitpunkte, die den ausgelesenen Laufzeiten t_k entsprechen, die Frequenzspektren gebildet. Aus den Frequenzspektren werden die Empfangsfrequenzen f_{Ek} in Zuordnung zu den Laufzeiten t_k ausgelesen, und im Differenzbildner 26 werden die Differenzen der Empfangsfrequenzen

$$\Delta F_k = f_{E1} - f_{Ek} \quad (9)$$

mit $k>1$ gebildet und im Speicher 26 in Zuordnung zu den Laufzeiten t_k mit $k>1$ abgespeichert.

[0050] Die aus dem Laufzeitenspeicher 24 ausgelesenen Laufzeiten t_k werden einem Rechner 28 zugeführt. Der Rechner 28 ist mit einem Vorgabemodul 29 für die Zielfrequenz f_0 und radiale Zielgeschwindigkeit v_{R1} verbunden. Im Rechner 28 wird für jede Laufzeit t_k die Dopplerverschiebung df_k berechnet, wobei sich die Dopplerverschiebung für den direkten Ausbreitungsweg gemäß

$$df_1 = \frac{f_0 \cdot v_{R1}}{c} \quad (10)$$

und die Dopplerverschiebungen für die indirekten Ausbreitungswege gemäß

$$df_k = df_1 \cdot \frac{t_1}{t_k} \quad (11),$$

ergeben, wobei c die Schallgeschwindigkeit im Wasser und k die Ordnungszahl für alle ausgewählten indirekten Ausbreitungswege ist, die im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 gleich $k=2, 3, 4, 5$ beträgt. Weiterhin werden im Rechner 28 aus den berechneten Dopplerverschiebungen df_k in den einzelnen Ausbreitungswegen k die Differenzen der Dopplerverschiebungen gemäß

$$\Delta F_{Mk} = df_k - df_1 \quad (12),$$

bestimmt, wobei k wiederum die Ordnungszahl für die indirekten Ausbreitungswege und damit $k>1$ ist. Diese Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} werden in einem Speicher 30 in Zuordnung zu den Laufzeiten t_k mit $k>1$ abgespeichert. In einer Vergleichslogik 31 werden die Empfangsfrequenz-Differenzen ΔF_k und die Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} die den gleichen Schalllaufzeiten t_k mit $k>1$ zugehörig sind, miteinander verglichen. Ergibt der Vergleich einen nicht ausreichenden Grad der Übereinstimmung, so wird die Bestimmung der Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} im Rechner 28 mit einer geänderten Zielfrequenz f_0 und/oder einer geänderten radialen Zielgeschwindigkeit v_{R1} wiederholt, und die neuen Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} werden wieder mit den Empfangsfrequenz-Differenzen ΔF_k verglichen. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis der Vergleich der Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} mit den Empfangsfrequenzen-Differenzen ΔF einen ausreichenden Grad der Übereinstimmung ergibt. Ist dies der Fall, dann wird ein Tor 32 geöffnet, an dem jeweils die zuletzt angenommene oder vorgegebene Zielfrequenz f_0 und die zuletzt angenommene radiale Zielgeschwindigkeit v_{R1} anstehen. Mit Öffnen des Tors 32 werden die zuletzt getroffenen Annahmen von Zielfrequenz f_0 und radialer Zielgeschwindigkeit v_{R1} der Anzeigevorrichtung 15 zugeführt und dort als echte Zielfrequenz f_0^* und echte radiale Zielgeschwindigkeit v_{R1}^* graphisch und numerisch dargestellt.

[0051] Die Vergleichslogik 31 arbeitet in gleicher Weise wie die zuvor beschriebenen Vergleichslogik 18, z.B. nach dem Least-Square-Verfahren, wobei als Kriterium beim Vergleich der Empfangsfrequenz-Differenzen ΔF_k und der Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} die Summe der minimalen Abstandskquadrate der Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} zu ihren nächsten Nachbarn in der Menge der Empfangsfrequenz-Differenzen ΔF_k verwendet wird. Wie der Vergleichslogik 18 kann auch der Vergleichslogik 31 noch ein hier nicht dargestellter Komparator nachgeordnet sein, in dem die Summe der minimalen Abstandskquadrate mit einem Konfidenzintervall verglichen wird. Liegt die Summe innerhalb des Konfidenzintervalls, so ist der vorgegebene Grad der Übereinstimmung der Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} mit den Empfangsfrequenzen-Differenzen ΔF_k erreicht, und der Komparator generiert das Toröffnungssignal für das Tor 32. Liegt die Summe außerhalb des Konfidenzintervalls, so löst das Komparatorsignal eine neue Vorgabe von Zielfrequenz und/oder radialer Zielgeschwindigkeit im Vorgabemodul 29 aus.

[0052] Um eine größere Anzahl von Vergleichswerten zu erhalten, ohne die Zahl der ausgewählten Ausbreitungswege bzw. der ausgewählten Laufzeiten t_k in den Ausbreitungswegen zu vergrößern, werden nicht nur die Differenzen der Empfangsfrequenzen zwischen den Empfangsfrequenzen f_{Ek} mit $k>1$, die den ausgewählten Laufzeiten t_k in den indirekten Ausbreitungswegen zugeordnet sind, und der Empfangsfrequenz f_{E1} , die der Laufzeit t_1 des direkten Ausbreitungswegs zugeordnet ist, gebildet, sondern auch die Empfangsfrequenz-Differenzen zwischen den indirekten Ausbreitungswegen selbst gebildet, so z.B. die Empfangsfrequenz-Differenz zwischen den Empfangsfrequenzen f_{E3} und f_{E2} , die der Schalllaufzeit t_3 über den Ausbreitungsweg dritter Ordnung und der Laufzeit t_2 im Ausbreitungsweg zweiter Ordnung zugehörig sind. In entsprechender Weise werden auch die Dopplerverschiebungs-Differenzen ΔF_{Mk} zwischen den indirekten Ausbreitungswegen gebildet und in der Vergleichslogik 31 mit den entsprechenden Empfangsfrequenz-Differenzen in der beschriebenen Weise verglichen.

[0053] Für eine Verbesserung der Bestimmung der Zielposition und der Ermittlung der Geschwindigkeit des Ziels mit Mustersignalen wird das Modell im Modellblock 17 in Fig. 1 für die Bestimmung von Modell-Stauchungsfaktoren s_k erweitert. Für die Berechnung der Modell-Laufzeitdifferenzen t_{Mi} und der Modell-Stauchungsfaktoren s_k wird Fig. 4 hinzugezogen und beispielhaft der indirekte Ausbreitungsweg $k=3$ mit einer Reflexion am Boden betrachtet, nachdem das Ziel S nach einem ersten Meßzeitpunkt mit einer Geschwindigkeit v in Richtung auf den Empfänger E gefahren ist und zum nächsten Meßzeitpunkt die Position S^* eingenommen hat. Die Laufzeit über den direkten Ausbreitungsweg

k=1 beträgt:

$$t_1 = \frac{1}{c} \sqrt{(x - v \cdot t)^2 + z_1^2} \quad (13)$$

und für den Ausbreitungsweg über den Boden

$$t_3 = \frac{1}{c} \sqrt{(x - v \cdot t)^2 + z_3^2} \quad (14).$$

[0054] Die Modell-Laufzeitdifferenz t_M beträgt

$$t_M = t_3 - t_1 = \frac{1}{c} \left[\sqrt{(x - vt)^2 + z_1^2} - \sqrt{(x - vt)^2 + z_3^2} \right] \quad (15).$$

[0055] Die zeitliche Änderung der Modell-Laufzeitdifferenz t_M nach der Zeit t wird im Modellblock 17 berechnet und liefert den Modell-Stauchungsfaktor s_k für den zweiten Meßzeitpunkt:

$$s_k(v, t) = \frac{\partial t_M}{\partial t} = \frac{v}{c} (x - vt) \left[\frac{1}{\sqrt{(x - vt)^2 + z_1^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x - vt)^2 + z_3^2}} \right] \quad (16).$$

[0056] Die zum ersten Meßzeitpunkt ermittelte Position des Ziels x , z_S wird eingesetzt und s_k für unterschiedliche Geschwindigkeiten v zusammen mit den Modell-Laufzeitdifferenz gemäß Gl. (15) t_M bestimmt.

[0057] Die zeitliche Änderung der Modell-Laufzeitdifferenz gemäß Gl. (16) entspricht einer zeitlichen Änderung der Phase φ bei einer Frequenz $\omega = 2\pi f$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{\partial t_M}{\partial t} \quad (17)$$

[0058] Die zeitliche Änderung der Phase φ ruft eine Dehnung oder Stauchung des zeitlichen Verlaufs des Gruppensignals hervor, die durch die Geschwindigkeit des Ziels entsprechend dem Dopplereffekt verursacht wird, und führt zu einer Dopplerverschiebung $\Delta\omega$ und einer Drehung der Phase φ des komplexen Frequenzspektrums bei jeder Frequenz ω oder des zeitlichen Verlaufs des empfangenen Gruppensignals längs jedem Ausbreitungsweg. Die Dopplerverschiebung $\Delta\omega$ bezogen auf die Frequenz ω ist gleich dem Modell-Stauchungsfaktor s_k und abhängig von der Geschwindigkeit v des Ziels sowie der Zeit t , in der sich das Ziel mit der Geschwindigkeit v bewegt.

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{\partial t_M}{\partial t} = s_k(v, t) \quad (18)$$

[0059] Ein Gruppensignal, das einen Impuls enthält, erhält über die indirekten Ausbreitungswege $k > 1$ ebenfalls eine relative Stauchung oder Dehnung der ausgesendeten Impulslänge, die durch den Modell-Stauchungsfaktor s_k berücksichtigt ist. Mit dem Modell-Stauchungsfaktoren s_k wird das zum ersten Meßzeitpunkt empfangene Zeitstück des Gruppensignals gestaucht und/oder gedehnt und dadurch Mustersignale hergestellt.

[0060] Fig. 7 zeigt ein gegenüber Fig. 1 erweitertes Blockschaltbild. Der Signalverarbeitungsblock 16 für die Laufzeitanalyse ist wahlweise durch Öffnen eines Schalters 161 über einen Bandpaß 162 der Mittenfrequenz ω mit dem Speicher 13 für die Gruppensignale am Ausgang des Richtungsbildners 12 verbunden. Das Gruppensignal wird nach Detektion eines Ziels einer Autokorrelationsschaltung 163 im Signalverarbeitungsblock 16 zugeführt, in der die Autokorrelationsfunktion des Gruppensignals gebildet und Maxima bei den Meß-Laufzeitdifferenzen $\Delta t_{1,2}$; $\Delta t_{2,3}$; $\Delta t_{1,3}$ ausgewertet werden, wie in Fig. 2 gezeigt. Die Meß-Laufzeitdifferenzen t_{ck} werden in der Vergleichslogik 18 mit den Modell-Laufzeitdifferenzen t_{Mk} verglichen und ergeben die Zielposition x , z_S zum ersten Meßzeitpunkt. Das Gruppen-

signal wird außerdem zum gleichen Meßzeitpunkt in einer Mustersignalschaltung 165 bezüglich seiner Größe und Stabilität untersucht und der zeitliche Verlauf des Gruppensignals mit dem größten Pegel und der größten Stabilität innerhalb eines Zeitintervalls ΔT abgespeichert. In dem Modellblock 17 werden Muster der Modell-Stauchungsfaktoren s_k über den Modell-Laufzeitdifferenzen t_M der zum nächsten Meßzeitpunkt angenommenen Zielpositionen und Geschwindigkeiten aus dem Zielpositions- und Geschwindigkeitsvorgabemodell 22 berechnet und bereitgestellt. Zur Ermittlung von Mustersignalen wird das abgespeicherte Zeitstück des Gruppensignals entsprechend den ermittelten Modell-Stauchungsfaktoren s_k gestaucht oder gedehnt, beispielsweise durch unterschiedliche Auslesezeiten des abgespeicherten zeitlichen Verlaufs. Zum nächsten Meßzeitpunkt nach dem Zeitintervall ΔT wird das empfangene Gruppensignal mit den Mustersignalen aus der Mustersignalschaltung 165 in einer Kreuzkorrelationsschaltung 166 korreliert, dessen Integrationszeit τ die gleiche Länge wie die Integrationszeit in der Autokorrelationsschaltung 163 aufweist. Die bei der Kreuzkorrelation sämtlicher Mustersignale mit dem Gruppensignal ermittelten Maxima werden zum Bestimmen von Meß-Laufzeitdifferenzen t_k ausgewertet und mit den Modell-Laufzeitdifferenzen t_M in der Vergleichslogik 18 verglichen.

[0061] Bei Übereinstimmung werden die in dem Zielpositions- und Geschwindigkeitsvorgabemodell 22 vorgegebenen Werte für die Zielposition x_z^* , z_s^* und die Geschwindigkeit v^* über das Tor 21 an die Anzeigevorrichtung 15 durchgeschaltet und angezeigt.

[0062] Literatur:

[1] Computational Ocean Acoustics, F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, H. Schmidt, AIP Press American Institute of Physics, New York 1994, insbesondere S. 58,

[2] J. S. Bendat and A. G. Piersol "Engineering Applications of Correlation and spektral Analysis", John Wiley and Sons, Inc. 1993.

[3] B. Bogert, M. Healy and J. Tukey, "The quefrency alalysis of time series for echoes: Cepstrum, pseudo-autocovariance, cross-cepstrum and saphe cracking" Proc. Symposium Time Series Analysis, 1963, pages 209 - 243.

[4] Bowlin et al "Ocean Acoustics Ray-Tracing Software RAY", WHOI Technical Report, WHOI-93-10. (<ftp://oalib.saic.com/pub/oalib/ray>)

[5] Sound Proagation in the Sea, Robert J. Urick, Peninsula Publishing, 1982, ISBN 0-932146-08-2, insbesondere S. 8 - 11

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Zielposition eines Schall ins Wasser abstrahlenden Ziels unter Auswertung des vom Ziel abgestrahlten Schalls, der auf direktem Ausbreitungsweg und auf durch Reflexionen entstehenden indirekten Ausbreitungswegen von einem untergetauchten, zielfernen Schallempfänger (10) mit einer Anzahl von elektroakustischen Wandlern (11) empfangen wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elektrischen Ausgangssignale der Wandler (11) richtungselektiv zu Gruppensignalen addiert werden, daß in den Gruppensignalen mittels Laufzeitanalyse Laufzeitdifferenzen des Schalls zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und indirekten Ausbreitungswegen als Meß-Laufzeitdifferenzen bestimmt werden, daß mittels eines Modells der Schallausbreitung für eine angenommene Zielposition Laufzeitdifferenzen zwischen dem direkten Ausbreitungsweg und ausgewählten indirekten Ausbreitungswegen vom Ziel zum Schallempfänger (10) bestimmt werden und diese Modell-Laufzeitdifferenzen mit den Meß-Laufzeitdifferenzen verglichen werden, daß die Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen mit jeweils geänderter Zielpositionsannahme solange wiederholt wird, bis der Vergleich der Modell-Laufzeitdifferenzen mit den Meß-Laufzeitdifferenzen einen vorgegebenen Grad der Übereinstimmung ergibt, und daß die zum Erreichen dieses Übereinstimmungsgrads getroffene Zielpositionsannahme als echte Zielposition ausgegeben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Kriterium beim Vergleich von Modell- und Meß-Laufzeitdifferenzen die Summe der minimalen Abstandsquadrate der Modell-Laufzeitdifferenzen zu ihren nächsten Nachbarn in der Menge der Meß-Laufzeitdifferenzen verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der vorgegebene Grad der Übereinstimmung dann erreicht ist, wenn die Summe der minimalen Abstandsquadrate innerhalb eines Konfidenzintervalls liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Wahrscheinlichkeit des Aufenthalts des Ziels in der angenommenen Zielposition als Kehrwert der Summe der minimalen Abstandsquadrate ermittelt wird und daß aus der Vielzahl der für angenommene Zielpositionen erhaltenen Wahrscheinlichkeiten die Wahrscheinlichkeitsdichte pro Flächeneinheit des Zielgebiets bestimmt wird und anhand der Wahrscheinlichkeitsdichte potentielle Zielpositionen aufgesucht werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 - 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die minimalen Abstandsquadrate vor der Summenbildung mit einem Wichtungsfaktor (w_i) multipliziert werden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Wichtungsfaktor (w_i) eine Potenz der Anzahl (n_B, n_O) der Reflexionen mit den Reflexionsfaktoren (R_B, R_O) im Ausbreitungsweg (i) gemäß

$$w_i = R_B^{n_B} \cdot R_O^{n_O}$$

benutzt wird, wobei der Reflexionsfaktor (R_B) für eine Reflexion am Boden und der Reflexionsfaktor (R_O) für eine Reflexion an der Oberfläche (O) eines durch Boden (B) und Oberfläche (O) begrenzten Schallkanals plausibel zwischen 0 und 1 gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Laufzeitanalyse die Autokorrelationsfunktion des Gruppensignals bestimmt wird und die Meß-Laufzeitdifferenzen durch Auswerten der Maxima der Autokorrelationsfunktion gewonnen werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Laufzeitanalyse eine Cepstralanalyse auf die Gruppensignale angewendet wird und daß die Meß-Laufzeitdifferenzen durch die Auswertung der Maxima im Cepstrum gewonnen werden.

9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Laufzeitanalyse eine Cepstralanalyse auf die Gruppensignale angewendet und jeweils das Cepstrum des Gruppensignals als Meß-Cepstrum gebildet wird und daß mit den Modell-Laufzeitdifferenzen ein Modell-Cepstrum gebildet und der Vergleich der Meß-Laufzeitdifferenzen und der Modell-Laufzeitdifferenzen durch unmittelbaren Vergleich des Modell-Cepstrums mit dem Meß-Cepstrum durchgeführt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Modell ein geometrisches Modell der Schallausbreitung in einem Flachwassergebiet mit der Wassertiefe (z_W) bei ebenem Gewässerboden und konstantem Schallgeschwindigkeitsprofil zugrunde gelegt wird, daß bei einer bekannten Tiefe (z_E) des Schallempfängers und einer angenommenen Zieltiefe (z_S) und einer angenommenen azimuthalen Zielentfernung (x) die Laufzeit (t_k) für k ausgewählte Ausbreitungswege gemäß

$$t_k = \frac{1}{c} \sqrt{x^2 + z_k^2}$$

berechnet wird, wobei c die konstante Schallgeschwindigkeit und z_k der Weg ist, den der Schall in jedem der k Ausbreitungswege ausschließlich in vertikaler Richtung zurücklegt, und daß zur Gewinnung der Modell-Laufzeitdifferenzen die Laufzeit (t_1) für den direkten Ausbreitungsweg von den Laufzeiten (t_k) für k ausgewählte indirekte Ausbreitungswegen mit $k > 1$ subtrahiert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Pegel der Gruppensignale bestimmt und durch Auswertung der größten Pegel Ziele detektiert und die Zielpellungen bestimmt werden und daß nur in denjenigen Gruppensignalen Meß-Laufzeitdifferenzen bestimmt und mit Modell-Laufzeitdifferenzen verglichen werden, in denen ein Ziel detektiert wurde.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** mit Feststellung der echten Zielposition mit dem Modell der Schallausbreitung bei der Bestimmung der Modell-Laufzeitdifferenzen berechnete Laufzeiten des Schalls für den direkten Ausbreitungsweg und für die ausgewählten indirekten Ausbreitungswege zur Zielposition aufgerufen werden, daß aus dem Gruppensignal, in dem das Ziel detektiert wurde, Frequenzspektren zu den den aufgerufenen Laufzeiten (t_k) entsprechenden Zeitpunkten gebildet werden, daß aus den Frequenzspektren Empfangsfrequenzen (f_{EK}) ausgelesen, die Differenzen der Empfangsfrequenzen (ΔF_k) gebildet und den

aufgerufenen Laufzeiten (t_k) zugeordnet werden, daß für eine angenommene, vom Ziel abgestrahlte Zielfrequenz (f_0) und für eine angenommene radiale Zielgeschwindigkeit (v_R) zu jeder der aufgerufenen Laufzeiten (t_k) eine Dopplerverschiebung (df_k) berechnet und die Differenzen der Dopplerverschiebungen (df_k) gebildet werden, daß die Empfangsfrequenz-Differenzen (ΔF_k) und die Dopplerverschiebungen-Differenzen (ΔF_{Mk}), die den gleichen Laufzeiten (t_k) zugehörig sind, miteinander verglichen werden, daß die Berechnung der Dopplerverschiebungen (df_k) mit jeweils geänderter Zielfrequenz (f_0) und/oder radialer Zielgeschwindigkeit (v_R) und der Vergleich mit den Empfangsfrequenz-Differenzen (ΔF_k) solange wiederholt wird, bis sich ein vorgegebener Grad der Übereinstimmung ergibt, und daß die zum Erreichen dieses Übereinstimmungsgrads getroffenen Annahmen von Zielfrequenz (f_0) und radialer Zielgeschwindigkeit (v_R) als wahre Zielfrequenz (f_0^*) und wahre radiale Zielgeschwindigkeit (v_{R1}^*) ausgegeben werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Kriterium beim Vergleich von Empfangsfrequenz-Differenzen (ΔF_k) und Dopplerverschiebungen-Differenzen (ΔF_{Mk}) die Summe der minimalen Abstandsquadrate der Dopplerverschiebungen-Differenzen (ΔF_{Mk}) zu ihren nächsten Nachbarn in der Menge der Empfangsfrequenz-Differenzen (ΔF_k) verwendet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** der vorgegebene Grad der Übereinstimmung dann erreicht ist, wenn die Summe der minimalen Abstandsquadrate innerhalb eines Konfidenzintervalls liegt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Dopplerverschiebung (df_1) im direkten Ausbreitungsweg als Produkt aus angenommener Zielfrequenz (f_0) und angenommener radialer Zielgeschwindigkeit (v_{R1}) dividiert durch die Schallgeschwindigkeit (c) im Wasser und die Dopplerverschiebung (df_k , $k>1$) für die ausgewählten indirekten Ausbreitungswege als die mit dem Verhältnis von Laufzeit (t_1) im direkten Ausbreitungsweg und Laufzeit (t_M , $k>1$) im jeweiligen indirekten Ausbreitungsweg multiplizierte Dopplerverschiebung (df_1) im direkten Ausbreitungsweg berechnet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 - 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** als Empfangsfrequenzen (f_{Ek}) signifikante Empfangsfrequenzbänder aus den Frequenzspektren ausgelesen werden und die Zielfrequenz (f_0) als ein vom Ziel abgestrahltes Frequenzband angenommen wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** Harmonische der Zielfrequenz im Antriebsgeräusch zur Klassifizierung des Ziels verwendet werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** der zeitliche Verlauf des Gruppensignals, in dem ein Ziel detektiert und eine Zielposition (x, z_s) zugeordnet ist, innerhalb eines Zeitintervalls (ΔT) gespeichert wird und zum Erstellen von Mustersignalen mit vorgebbaren Modell-Stauchungsfaktoren (s_k) gedehnt und/oder gestaucht wird, daß der Modell-Stauchungsfaktor (s_k) für jede Modell-Laufzeitdifferenz der zum nächsten Meßzeitpunkt angenommenen Position aus der ersten Zielposition und vorgebbaren Werten für die Geschwindigkeit des Ziels bestimmt wird, daß Modell-Stauchungsfaktor (s_k) den Modell-Laufzeitdifferenzen (t_{Mi}) zugeordnet werden, daß die Mustersignale mit dem zum nächsten Meßzeitpunkt in einem Zeitintervall empfangenen Gruppensignal gekorreliert werden und daß die Meß-Laufzeitdifferenzen (t_k) durch Auswerten der Maxima der Kreuzkorrelationsfunktion gewonnen werden, mit den Modell-Laufzeitdifferenzen (t_{Mi}) verglichen werden und Position und Geschwindigkeit des Ziels liefern.

19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, daß** die erste Zielposition mit den Meß-Laufzeitdifferenzen (t_k) aus der Auswertung der Autokorrelationsfunktion ermittelt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine zeitabhängige relative Dopplerverschiebung längs der Ausbreitungswege aus den zu den ermittelten Meß-Laufzeitdifferenzen gehörenden Modell-Stauchungsfaktoren (s_k) bestimmt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** aus der relativen Dopplerverschiebung ($\Delta\omega/\omega$) und der Geschwindigkeit v eine Zielklassifizierung hergeleitet wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** Mittenfrequenz und Bandbreite des Gruppensignals ausgewählt werden.

23. Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Auswahl an die vom Ziel zu erwartende Schall-

abstrahlung angepaßt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Anpassung abhängig von der Entfernung zum Ziel und/oder zeitabhängig gewählt wird.

5

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 - 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Bandbreite an eine gewünschte Entfernungsauflösung angepaßt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 - 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Integrationszeit (τ) für die Kreuzkorrelationsfunktion und die Geschwindigkeitsauflösung aufeinander abgestimmt werden.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

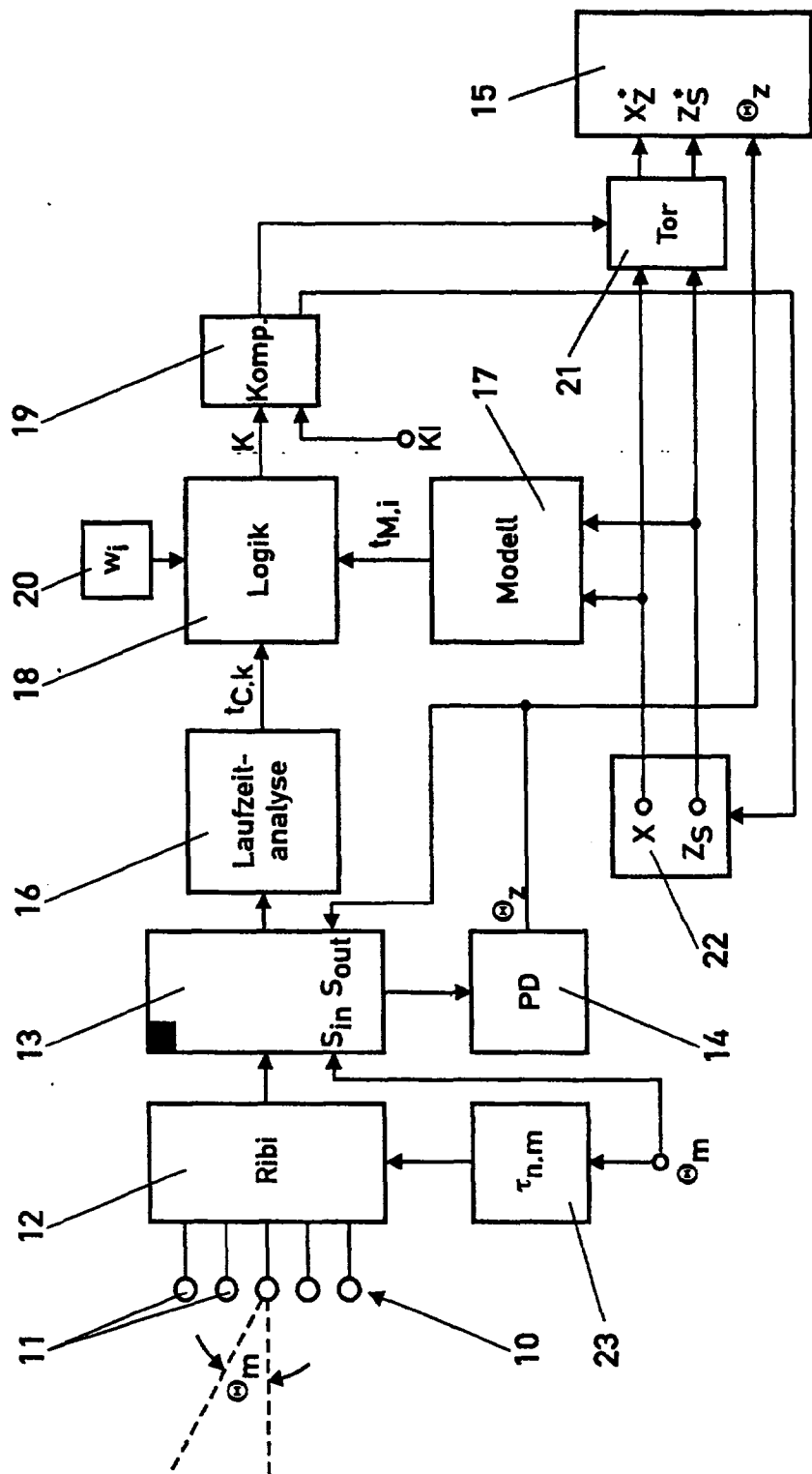


Fig. 1

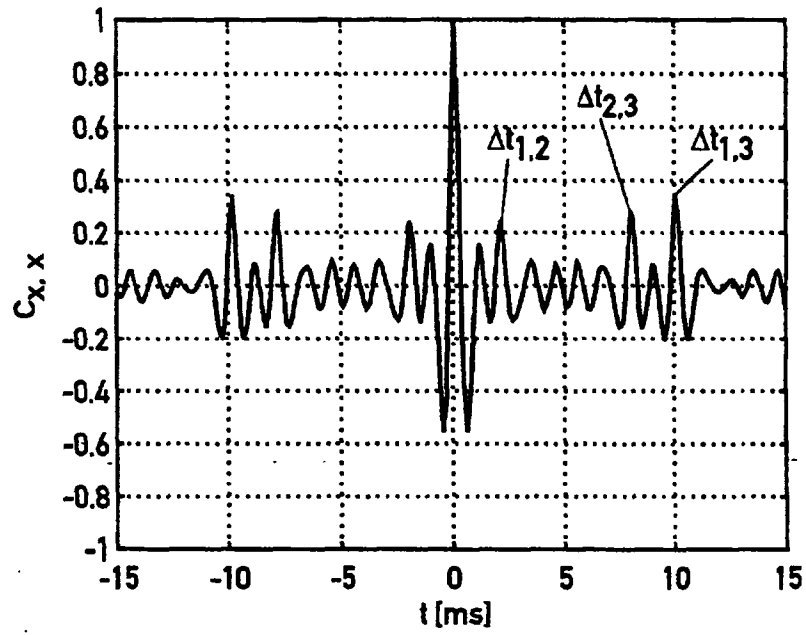


Fig. 2

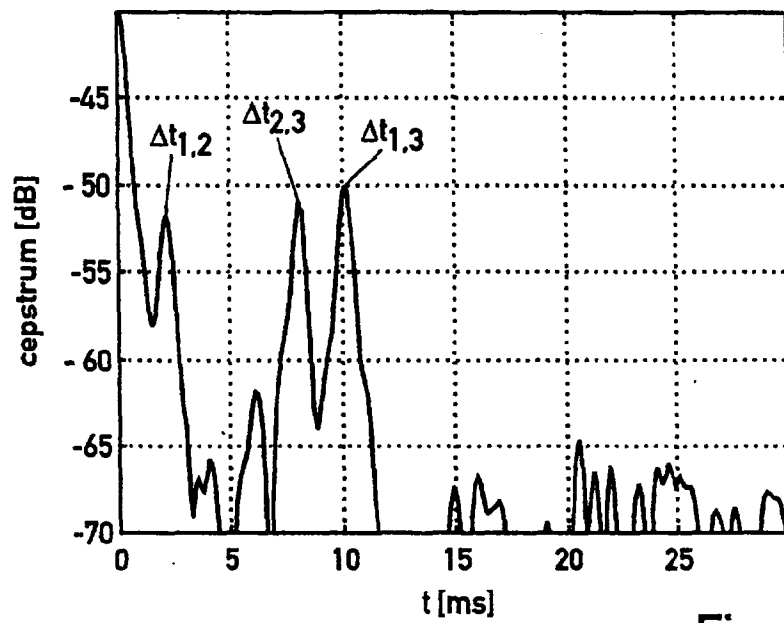
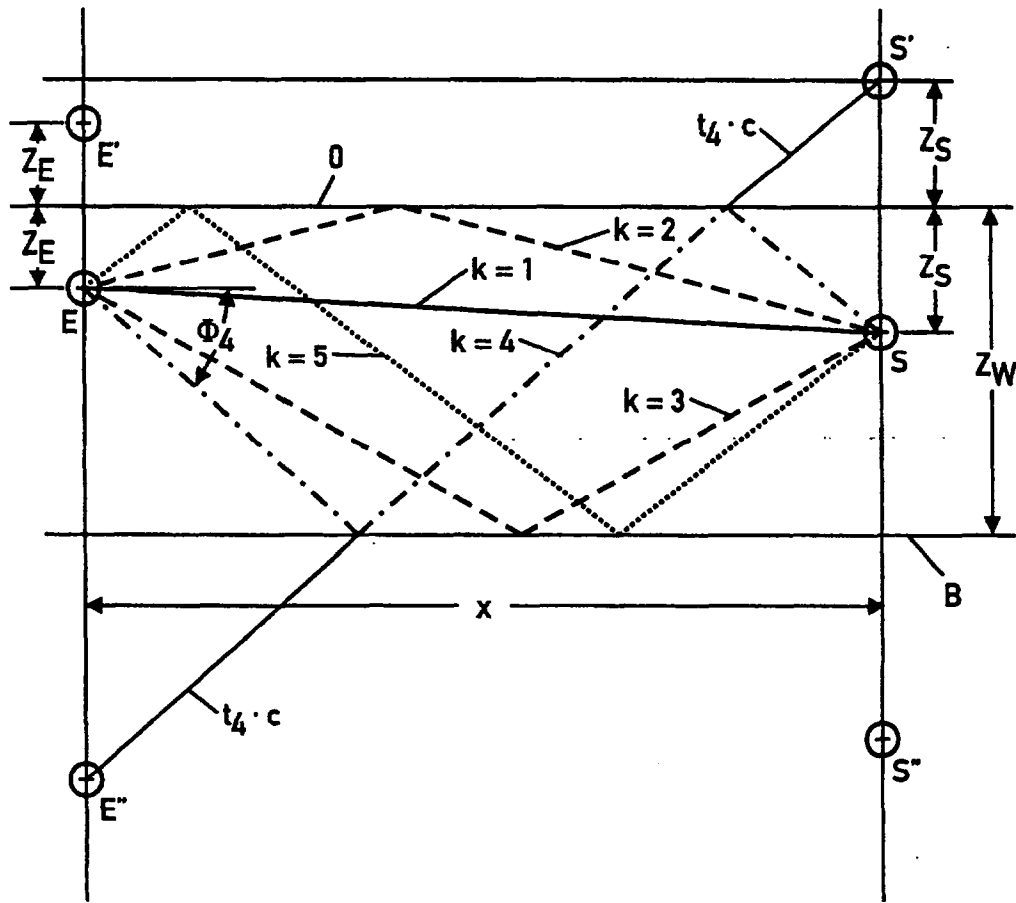


Fig. 3



$$t_k \cdot c = \sqrt{x^2 + Z_k^2}$$

- | | | |
|-------------|--------------------------|----------|
| für $k=1$: | $Z_1 = Z_S - Z_E$ | (Direkt) |
| $k=2$: | $Z_2 = Z_S + Z_E$ | (0) |
| $k=3$: | $Z_3 = 2Z_W - Z_S - Z_E$ | (B) |
| $k=4$: | $Z_4 = 2Z_W + Z_S - Z_E$ | (0B) |
| $k=5$: | $Z_5 = 2Z_W - Z_S + Z_E$ | (B0) |

Fig. 4

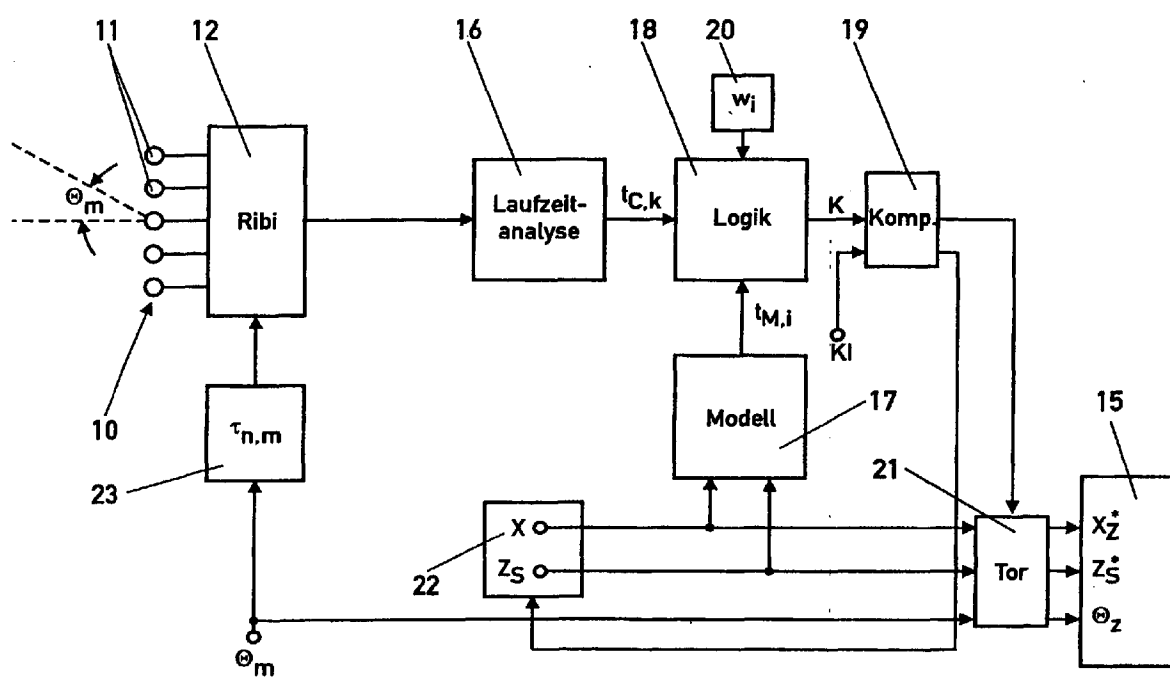


Fig. 5

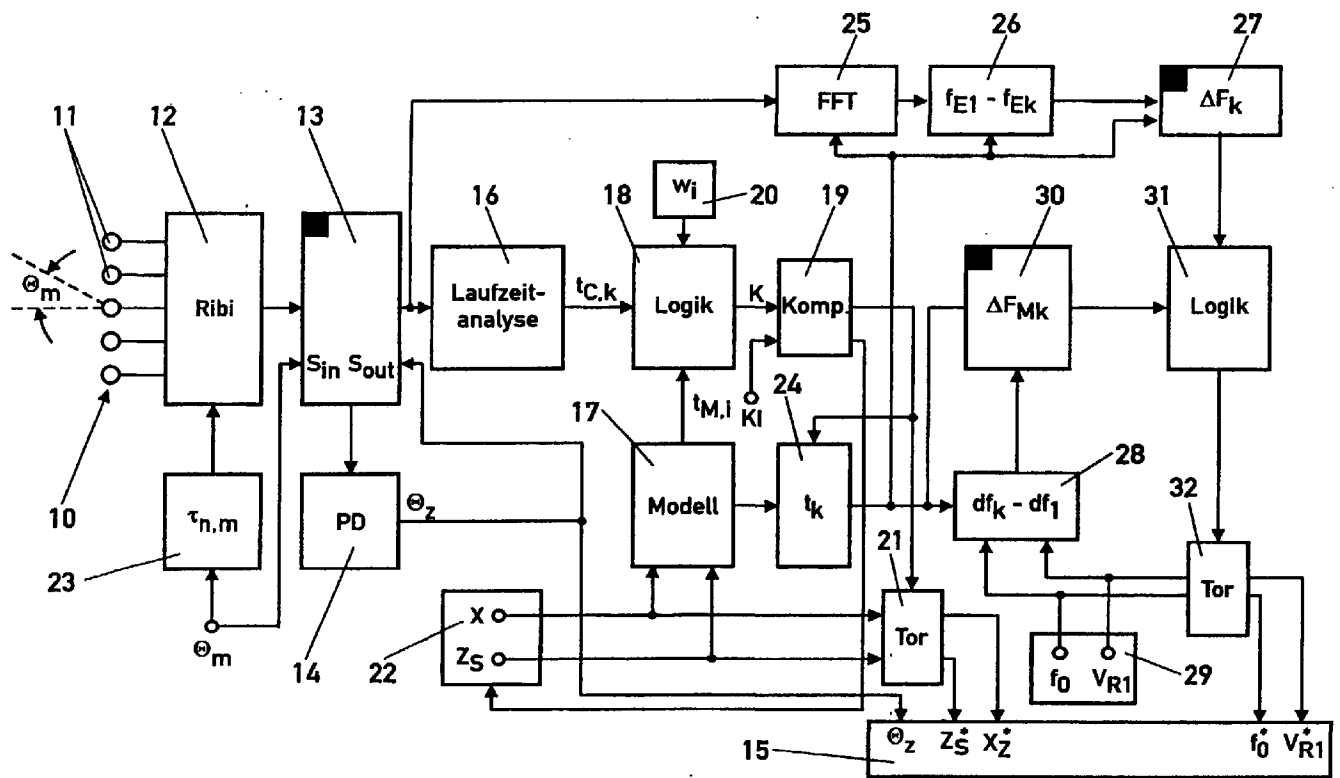


Fig. 6

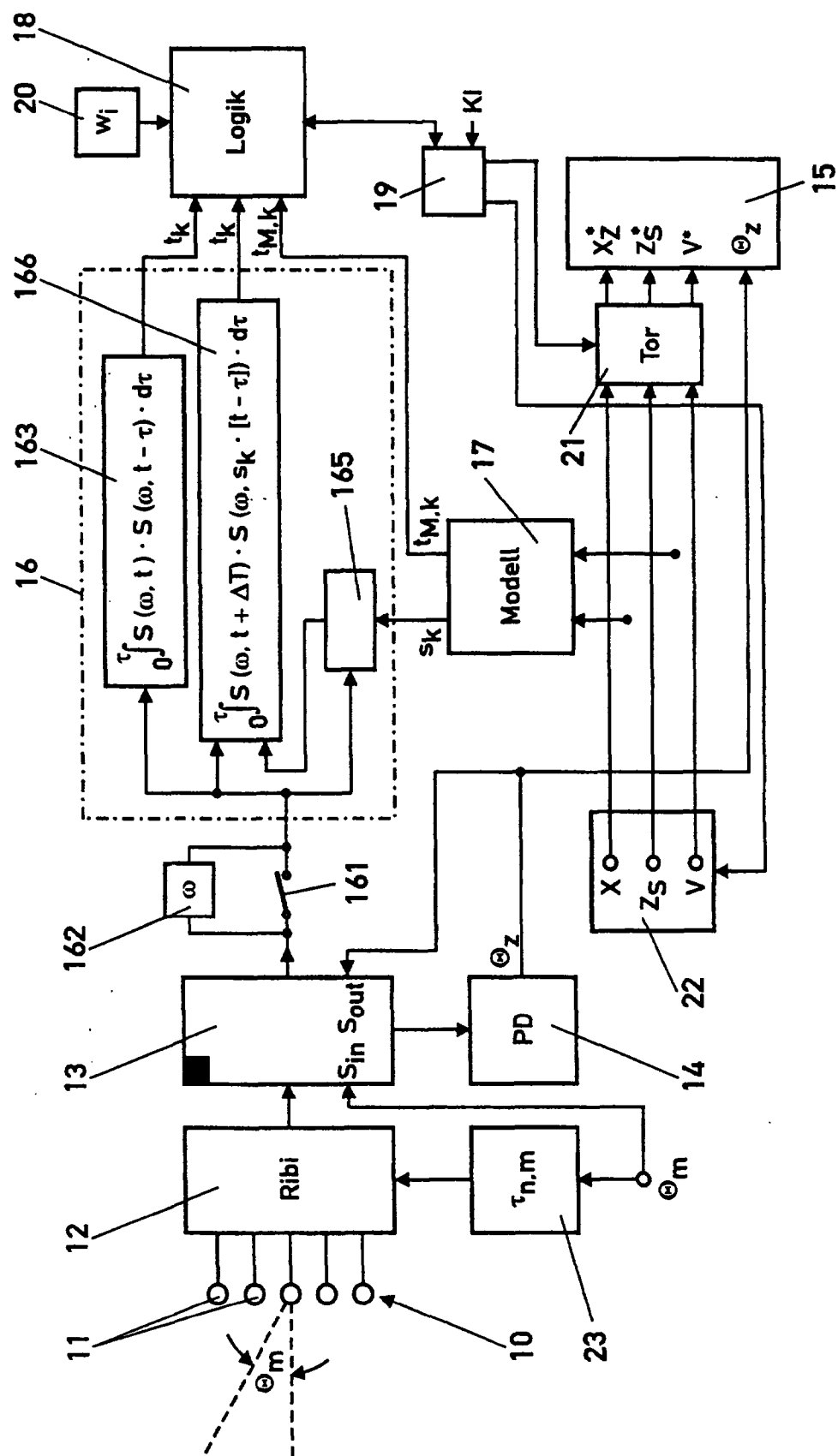


Fig. 7



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 02 01 3552

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. CL7)
Y	EL-HAWARY F ET AL: "UNDERWATER TARGET TRACKING VIA THE IRWLS FILTERING APPROACH" IEE PROCEEDINGS F. COMMUNICATIONS, RADAR & SIGNAL PROCESSING, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS. STEVENAGE, GB, Bd. 138, Nr. 5, 1. Oktober 1991 (1991-10-01), Seiten 459-469, XP000265693 ISSN: 0956-375X * Zusammenfassung; Abbildung 1 * * Gleichungen 1, 42 * * Kapitel 1, Absatz 1 * * Kapitel 2, 6 * ---	1,2,5,7, 8,10,12, 18	G01S3/808 G01S3/802 G01S5/22
Y	EP 0 412 248 A (KRUPP ATLAS ELEKTRONIK GMBH) 13. Februar 1991 (1991-02-13) * Zusammenfassung; Ansprüche 1,3,6,14 * ---	1,2,5,10	
Y	BLANC-BENON P ET AL: "Passive target motion analysis using multipath differential time-delay and differential Doppler shifts" ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, 1995. ICASSP-95., 1995 INTERNATIONAL CONFERENCE ON DETROIT, MI, USA 9-12 MAY 1995, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 9. Mai 1995 (1995-05-09), Seiten 3139-3142, XP010152010 ISBN: 0-7803-2431-5 * Kapitel 2 * * Kapitel 3.1, Absatz 1 * ---	12	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. CL7)
			G01S
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 9. Oktober 2002	Prüfer Grübl, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur		&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 02 01 3552

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Y	JEFFERS R ET AL: "Passive range estimation and range rate detection" PROCEEDINGS OF THE 2000 IEEE SENSOR ARRAY AND MULTICHANNEL SIGNAL PROCESSING WORKSHOP, SAM 2000 (CAT. NO.00EX410), PROCEEDINGS OF THE 2000 IEEE SENSOR ARRAY AND MULTICHANNEL SIGNAL PROCESSING WORKSHOP, CAMBRIDGE, MA, USA, 16-17 MARCH 2000, Seiten 112-116, XP002215184 2000, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-6339-6 * Kapitel 2.2 *	8	
Y	WESTWOOD E K: "BROADBAND MATCHED-FIELD SOURCE LOCALIZATION" JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 91, Nr. 5, 1. Mai 1992 (1992-05-01), Seiten 2777-2789, XP000269356 ISSN: 0001-4966 * Kapitel I *	18	
D,Y	DE 37 05 695 C (HUGHES AIRCRAFT CO) 2. Juni 1999 (1999-06-02) * Zusammenfassung * * Seite 3, Zeile 27-31 *	7	
D,A	US 4 312 053 A (LIPSKY ALAN H) 19. Januar 1982 (1982-01-19)		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort MÜNCHEN		Abschlußdatum der Recherche 9. Oktober 2002	
		Prüfer Grübl, A	
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 01 3552

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-10-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 0412248	A	13-02-1991	DE	3926378	A1	14-02-1991	
			DE	59009410	D1	24-08-1995	
			EP	0412248	A2	13-02-1991	
			NO	902362	A	11-02-1991	
DE 3705695	C	02-06-1999	US	5420827	A	30-05-1995	
			DE	3705695	C1	02-06-1999	
US 4312053	A	19-01-1982	KEINE				

EPO FORM P0451

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82